

明細書

光学活性アルコールの製法

技術分野

本発明は、ルテニウム金属錯体等を触媒とする光学活性アルコールの
5 製法に関する。

背景技術

これまで、金属錯体を触媒とする光学活性アルコールの製法が様々報告されている。特に、カルボニル化合物から不斉な金属錯体を触媒として用いて光学活性アルコールを合成する方法は、極めて精力的に検討されている。
10

例えば、特開 2003-104993 号公報には、触媒として BINAP (2, 2'-ビス(ジフェニルホスフィノ)-1, 1'-ビナフチル) 等のジホスフィン化合物とジアミン化合物とがルテニウムに配位した不斉ルテニウム金属錯体のテトラヒドロボレートを用いて、加圧水素下塩基を加えることなく 2-プロパノール中で種々のケトン化合物を水素化して光学活性アルコールを製造した例が幾つか報告されている。具体的には、アセトフェノン、4-アセチル安息香酸エチル、3-ノネン-2-オンなどから対応する光学活性アルコールを製造している。
15

また、特開平 11-322649 号公報には、触媒として窒素上にスルホニル基を有するジフェニルエチレンジアミンとベンゼン誘導体とがルテニウムに配位した不斉ルテニウム金属錯体を用いて、ギ酸とトリエチルアミンとの共沸混合物及びトリエチルアミンの存在下、m-トリフルオロメチルアセトフェノンを水素化して対応する光学活性アルコールを製造した例が報告されている。
20
25

しかしながら、特開 2003-104993 号公報に記載された触媒

を用いると塩基不存在下でケトン化合物から光学活性アルコールが得られるものの、反応基質によっては収率や鏡像体過剰率が低いことがあった。また、特開平 1 1 - 3 2 2 6 4 9 号公報では有機塩基であるトリエチルアミンが必要なため、例えばアセチレンケトンなどのような塩基に不安定な反応基質から光学活性アルコールを製造するのは困難であった。

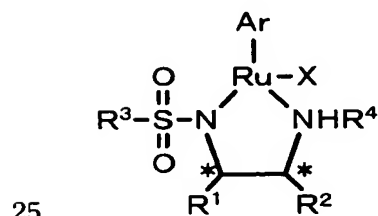
発明の開示

本発明は、このような課題を解決するためになされたものであり、これまで水素化が困難であったケトン化合物から光学活性アルコールを収率よく、しかも高立体選択的に得ることができる製法を提供することを目的とする。

上記課題に鑑み、本発明の発明者らは、数多くの不斉ルテニウム、ロジウム、およびイリジウム錯体の触媒能を調査し、触媒の作用機構を解析し、鋭意研究を重ねた結果、これまで水素化が困難であったケトン化合物を水素化して光学活性アルコールを収率よく高立体選択的に得る方法を開発するに至った。

すなわち、本発明の第 1 の光学活性アルコールの製法は、一般式 (1) で表される金属錯体とケトン化合物とを極性溶媒に入れ、加圧水素下で混合することによりケトン化合物を水素化して光学活性アルコールを製造するものである。

一般式 (1)



(一般式 (1) 中、R¹及びR²は、同一であっても互いに異なっていて

もよく、アルキル基、置換基を有していてもよいフェニル基、置換基を有していてもよいナフチル基、置換基を有していてもよいシクロアルキル基及び R^1 と R^2 とが一緒になって形成された非置換若しくは置換基を有する脂環式環からなる群より選ばれた一種であり、

- 5 R^3 は、アルキル基、パーフルオロアルキル基、置換基を有していてもよいナフチル基、置換基を有していてもよいフェニル基及びカンファ一基からなる群より選ばれた一種であり、

R^4 は、水素原子又はアルキル基であり、

Ar は、置換基を有していてもよいベンゼンであり、

- 10 X は、アニオン性基であり、

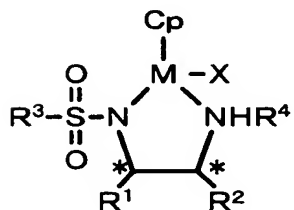
$*$ は、不斉炭素を示す。)

この製法によれば、加圧水素下でケトン化合物の水素化が進行するため、これまで水素化が困難であったケトン化合物から光学活性アルコールを収率よく、しかも高立体選択的に得ることができる。

- 15 本発明の第2の光学活性アルコールの製法は、一般式(2)で表される金属錯体とケトン化合物とを極性溶媒に入れ、加圧水素下で混合することによりケトン化合物を水素化して光学活性アルコールを製造するものである。

一般式(2)

20



- (一般式(2)中、 R^1 及び R^2 は、同一であっても互いに異なっていて
25 もよく、アルキル基、置換基を有していてもよいフェニル基、置換基を有していてもよいナフチル基、置換基を有していてもよいシクロアルキ

ル基及び R^1 と R^2 とが一緒になって形成された非置換若しくは置換基を有する脂環式環からなる群より選ばれた一種であり、

R^3 は、アルキル基、パーフルオロアルキル基、置換基を有していてもよいナフチル基、置換基を有していてもよいフェニル基及びカンファ
5 ー基からなる群より選ばれた一種であり、

R^4 は、水素原子又はアルキル基であり、

C_p は、置換基を有していてもよいシクロペンタジエンであり、

M は、ロジウム又はイリジウムであり、

X は、アニオン性基であり、

10 *は、不斉炭素を示す。)

この製法によっても、加圧水素下でケトン化合物の水素化が進行するため、これまで水素化が困難であったケトン化合物から光学活性アルコールを収率よく、しかも高立体選択的に得ることができる。

一般式(1)又は(2)の R^1 及び R^2 におけるアルキル基としては、
15 例えばメチル基、エチル基、*n*-プロピル基、イソプロピル基、*n*-ブチル基、*sec*-ブチル基、*tert*-ブチル基等の炭素数1~10のアルキル基が挙げられる。また、置換基を有していてもよいフェニル基としては、例えば無置換のフェニル基、4-メチルフェニル基や3, 5-ジメチルフェニル基等のアルキル基を有するフェニル基、4-フルオ
20 ロフェニル基や4-クロロフェニル基等のハロゲン置換基を有するフェニル基、4-メトキシフェニル基等のアルコキシ基を有するフェニル基などが挙げられる。また、置換基を有していてもよいナフチル基としては、例えば無置換のナフチル基、5, 6, 7, 8-テトラヒドロ-1-ナフチル基、5, 6, 7, 8-テトラヒドロ-2-ナフチル基などが挙
25 げられる。また、置換基を有していてもよいシクロアルキル基としては、例えばシクロペンチル基、シクロヘキシル基などが挙げられる。また、

R^1 と R^2 とが一緒になって形成された非置換若しくは置換基を有する脂環式環としては、例えば R^1 と R^2 とが一緒になって形成されたシクロヘキサン環などが挙げられる。このうち、 R^1 及び R^2 としては、共にフェニル基であるか、 R^1 と R^2 とが一緒になって形成されたシクロヘキサン環であることが好ましい。

一般式(1)又は(2)の R^3 におけるアルキル基としては、例えばメチル基、エチル基、*n*-プロピル基、イソプロピル基、*n*-ブチル基、*sec*-ブチル基、*tert*-ブチル基等の炭素数1~10のアルキル基が挙げられる。また、パーフルオロアルキル基としては、例えばトリフルオロメチル基、ペンタフルオロエチル基などが挙げられる。また、置換基を有していてもよいナフチル基としては、例えば無置換のナフチル基、5, 6, 7, 8-テトラヒドロ-1-ナフチル基、5, 6, 7, 8-テトラヒドロ-2-ナフチル基などが挙げられる。また、置換基を有していてもよいフェニル基としては、例えば無置換のフェニル基、4-メチルフェニル基や3, 5-ジメチルフェニル基や2, 4, 6-トリメチルフェニル基や2, 4, 6-トリイソプロピルフェニル基等のアルキル基を有するフェニル基、4-フルオロフェニル基や4-クロロフェニル基等のハロゲン置換基を有するフェニル基、4-メトキシフェニル基等のアルコキシ基を有するフェニル基などが挙げられる。

一般式(1)又は(2)の R^4 におけるアルキル基としては、例えばメチル基やエチル基などが挙げられるが、 R^4 として好ましいのは水素である。

一般式(1)のArとしては、例えば無置換のベンゼンのほか、トルエン、*o*-, *m*-又は*p*-キシレン、*o*-, *m*-又は*p*-シメン、1, 2, 3-, 1, 2, 4-又は1, 3, 5-トリメチルベンゼン、1, 2, 4, 5-テトラメチルベンゼン又は1, 2, 3, 4-テトラメチルベン

ゼン、ペンタメチルベンゼン、ヘキサメチルベンゼン等のアルキル基を有するベンゼンなどが挙げられる。

一般式(2)のC_pとしては、例えば無置換のシクロペンタジエンのほか、モノー、ジー、トリー、テトラー又はペンタメチルシクロペンタジエン等のアルキル基を有するシクロペンタジエンなどが挙げられる。

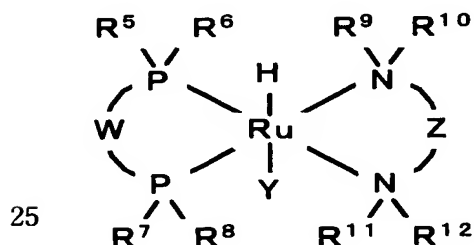
一般式(1)又は(2)のXはアニオン性基であるが、例えばフッ素基、塩素基、臭素基、ヨウ素基、テトラフルオロボラート基、テトラヒドロボラート基、テトラキス[3, 5-ビス(トリフルオロメチル)フェニル]ボラート基、アセトキシ基、ベンゾイルオキシ基、(2, 6-ジヒドロキシベンゾイル)オキシ基、(2, 5-ジヒドロキシベンゾイル)オキシ基、(3-アミノベンゾイル)オキシ基、(2, 6-メトキシベンゾイル)オキシ基、(2, 4, 6-トリイソプロピルベンゾイル)オキシ基、1-ナフタレンカルボン酸基、2-ナフタレンカルボン酸基、トリフルオロアセトキシ基、トリフルオロメタンスルホキシ基、トリフルオロメタンスルホンイミド基などが挙げられる。このうち、Xとして好ましいのは、フッ素基、塩素基、臭素基、ヨウ素基などのハロゲン基である。

一般式(1)又は(2)において、R¹、R²及びR³は、同一であっても互いに異なってもよく、フェニル基、炭素数1～5のアルキル基を有するフェニル基、炭素数1～5のアルコキシ基を有するフェニル基又はハロゲン置換基を有するフェニル基であり、R⁴は水素原子であることが好ましい。一般式(1)ではルテニウムに、一般式(2)ではロジウム又はイリジウムに2座配位子であるエチレンジアミン誘導体(R³SO₂NHCHR¹CHR²NHR⁴)が配位していることから、R¹～R⁴のうち好ましい具体例の説明をこのエチレンジアミン誘導体を例示することにより行う。即ち、エチレンジアミン誘導体としては、TsDPEN

(N-(p-トルエンスルホニル)-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン)、MsDPEN (N-メタンスルホニル-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン)、N-メチル-N'-(p-トルエンスルホニル)-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N-(p-メトキシフェニルスルホニル)-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N-(p-クロロフェニルスルホニル)-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N-トリフルオロメタンスルホニル-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N-(2, 4, 6-トリメチルベンゼンスルホニル)-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N-(2, 4, 6-トリイソプロピルベンゼンスルホニル)-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N-(4-tert-ブチルベンゼンスルホニル)-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N-(2-ナフチルスルホニル)-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N-(3, 5-ジメチルベンゼンスルホニル)-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N-ペンタメチルベンゼンスルホニル-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、1, 2-N-トシルシクロヘキサレンジアミンなどが例示される。

本発明の第3の光学活性アルコールの製法は、一般式(3)で表される金属錯体とケトン化合物とを極性溶媒に入れ、加圧水素下で混合することによりケトン化合物を水素化して光学活性アルコールを製造するものである。

一般式(3)



(一般式 (3) 中、Wは、置換基を有していてもよい結合鎖であり、

$R^5 \sim R^8$ は、同じであっても異なってもよく、置換基を有していてもよい炭化水素基であり、 R^5 と R^6 とが一緒になって置換基を有していてもよい炭素鎖環を形成していてもよいし R^7 と R^8 とが一緒になって

5 置換基を有していてもよい炭素鎖環を形成していてもよく、

$R^9 \sim R^{12}$ は、同じであっても異なってもよく、水素原子又は置換基を有していてもよい炭化水素基であり、

Zは、置換基を有していてもよい炭化水素鎖であり、

Yは、 BH_4 を除くアニオン性基であり、

10 ルテニウムの各配位子は、どのように配置されていてもよい。)

この製法によっても、加圧水素下でケトン化合物の水素化が進行するため、これまで水素化が困難であったケトン化合物から光学活性アルコールを収率よく、しかも高立体選択的に得ることができる。

一般式 (3) における $R^5 \sim R^8$ の置換基を有していてもよい炭化水素
 15 基としては、脂肪族、脂環族の飽和又は不飽和の炭化水素基、単環又は多環の芳香族又は芳香脂肪族の炭化水素、あるいは置換基を持つこれらの炭化水素基の各種のものであってもよい。例えば、アルキル、アルケニル、シクロアルキル、シクロアルケニル、フェニル、ナフチル、フェニルアルキル等の炭化水素基と、これら炭化水素基に、さらにアルキル、
 20 アルケニル、シクロアルキル、アリール、アルコキシ、エステル、アシルオキシ、ハロゲン原子、ニトロ、シアノ基等の許容される各種の置換基を有するもののうちから選択される。また、 R^5 と R^6 、 R^7 と R^8 が一緒になって置換基を有していてもよい炭素鎖環を形成する場合には、 R^5 と R^6 、 R^7 と R^8 は結合して炭素鎖を形成し、この炭素鎖上にアルキル、
 25 アルケニル、シクロアルキル、アリール、アルコキシ、エステル、アシルオキシ、ハロゲン原子、ニトロ、シアノ基等の許容される各種の置換

基を持つものから選択される。

一般式 (3) における W は、置換基を有していてもよい結合鎖であり、このうち結合鎖としては 2 価の炭化水素鎖 (例えば $-\text{CH}_2-$ 、 $-(\text{CH}_2)_2-$ 、 $-(\text{CH}_2)_3-$ 、 $-(\text{CH}_2)_4-$ 等の直鎖状炭化水素鎖、 $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)-$ 、 $-\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}(\text{CH}_3)-$ などの分岐を有する炭化水素鎖、 $-\text{C}_6\text{H}_4-$ 、 $-\text{C}_6\text{H}_{10}-$ などの環状炭化水素など)、2 価のピナフチル、2 価のビフェニル、2 価のパラシクロファン、2 価のビピリジン、2 価の環状複素環などが挙げられる。このうち、2 位及び 2' 位にてリン原子と結合し他の位置のいずれかに置換基を有していてもよいピナフチル基が好ましい。また、これらの結合鎖は、アルキル、アルケニル、シクロアルキル、アリール、アルコキシ、エステル、アシルオキシ、ハロゲン原子、ニトロ、シアノ基等の許容される各種の置換基を有していてもよい。

一般式 (3) ではルテニウムに 2 座配位子であるジホスフィン誘導体 ($\text{R}^5\text{R}^6\text{P}-\text{W}-\text{PR}^7\text{R}^8$) が配位していることから、 $\text{R}^5\sim\text{R}^8$ 及び W のうち好ましい具体例の説明をこのジホスフィン誘導体を例示することにより行う。即ち、ジホスフィン誘導体としては、BINAP (2, 2'-ビス (ジフェニルホスフィノ) -1, 1'-ピナフチル)、TolBINAP (2, 2'-ビス [(4-メチルフェニル) ホスフィノ] -1, 1'-ピナフチル)、XylBINAP (2, 2'-ビス [(3, 5-ジメチルフェニル) ホスフィノ] -1, 1'-ピナフチル)、2, 2'-ビス [(4-tert-ブチルフェニル) ホスフィノ] -1, 1'-ピナフチル)、2, 2'-ビス [(4-イソプロピルフェニル) ホスフィノ] -1, 1'-ピナフチル)、2, 2'-ビス [(ナフタレン-1-イル) ホスフィノ] -1, 1'-ピナフチル)、2, 2'-ビス [(ナフタレン-2-イル) ホスフィノ] -1, 1'-ピナフチル)、BICHEMP (2, 2'-ビス (ジシクロ

ヘキシルホスフィノ) - 6, 6'-ジメチル-1, 1'-ビフェニル)、
 BPPFA (1 - [1, 2-ビス-(ジフェニルホスフィノ) フェロセニ
 ル] エチルアミン)、CHIRAPHOS (2, 3-ビス(ジフェニルホスフ
 ィノ) ブタン、CYCPHOS (1-シクロヘキシル-1, 2-ビス(ジフ
 5 エニルホスフィノ) エタン)、DEGPPOS (1-置換-3, 4-ビス
 (ジフェニルホスフィノ) ピロリジン)、DIOP (2, 3-イソプロピ
 リデン-2, 3-ジヒドロキシ-1, 4-ビス((ジフェニルホスフィ
 ノ) ブタン)、SKEWPHOS (2, 4-ビス(ジフェニルホスフィノ)
 ペンタン)、DuPHOS (置換-1, 2-ビス(ホスホラノ) ベンゼン)、
 10 DIPAMP (1, 2-ビス[(*o*-メトキシフェニル) フェニルホスフィ
 ノ] エタン)、NORPHOS (5, 6-ビス(ジフェニルホスフィノ) -
 2-ノルボルネン)、PROPHOS (1, 2-ビス(ジフェニルホスフィ
 ノ) プロパン、PHANEPHOS (4, 1, 2-ビス(ジフェニルホスフィ
 ノ) - [2, 2'] -パラシクロファン)、置換-2, 2'-ビス(ジ
 15 フェニルホスフィノ) -1, 1'-ビピリジン) などが例示される。

一般式 (3) の $R^9 \sim R^{12}$ における炭化水素基としては、例えばメチ
 ル基、エチル基、プロピル基、ベンジル基などの炭素数 1 ~ 10 の炭化
 水素基が挙げられる。また、これらの炭化水素基は、アルキル、アルケ
 ニル、シクロアルキル、アリール、アルコキシ、エステル、アシルオキ
 20 シ、ハロゲン原子、ニトロ、シアノ基等の許容される各種の置換基を有
 していてもよい。

一般式 (3) の Z における炭化水素鎖としては、例えば $-CH_2-$ 、
 $-(CH_2)_2-$ 、 $-(CH_2)_3-$ 、 $-(CH_2)_4-$ 等の直鎖状炭化水素
 鎖、 $-CH_2CH(CH_3)-$ 、 $-CH(CH_3)CH(CH_3)-$ などの
 25 分岐を有する炭化水素鎖、 $-C_6H_4-$ 、 $-C_{10}H_{16}-$ などの環状炭化水
 素などが挙げられる。また、これらの炭化水素鎖は、アルキル、アルケ

ニル、シクロアルキル、アリール、アルコキシ、エステル、アシルオキシ、ハロゲン原子、ニトロ、シアノ基等の許容される各種の置換基を有していてもよい。このうち、置換基としてはフェニル基が好ましい。

一般式(3)ではルテニウムに2座配位子であるジアミン誘導体($R^9R^{10}N-Z-NR^{11}R^{12}$)が配位していることから、 $R^9\sim R^{12}$ 及びZのうち好ましい具体例の説明をこのジアミン誘導体を例示することにより行う。即ち、ジアミン誘導体としては、DPEN(1, 2-ジフェニルエチレンジアミン)、N-メチル-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、N, N'-ジメチル-1, 2-ジフェニルエチレンジアミン、1, 2-シクロヘキサレンジアミン、DAIPEN(1-イソプロピル-2, 2-ジ(p-メトキシフェニル)エチレンジアミン)、1, 2-シクロヘプタンジアミン、2, 3-ジメチルブタンジアミン、1-メチル-2, 2-ジフェニルエチレンジアミン、1-イソプロピル-2, 2-ジフェニルエチレンジアミン、1-メチル-2, 2-ジ(p-メトキシフェニル)エチレンジアミン、1-エチル-2, 2-ジ(p-メトキシフェニル)エチレンジアミン、1-フェニル-2, 2-ジ(p-メトキシフェニル)エチレンジアミン、1-ベンジル-2, 2-ジ(p-メトキシフェニル)エチレンジアミン、1-イソブチル-2, 2-ジ(p-メトキシフェニル)エチレンジアミンなどが例示され、このうちDPEN又はDAIPENが好ましい。また、これらのうち光学活性なジアミン誘導体が好ましい。更に、光学活性ジアミン誘導体は、上述したものに限られるものではなく、種々の光学活性なプロパンジアミン、ブタンジアミン、フェニレンジアミン、シクロヘキサレンジアミン誘導体等を用いることができる。

一般式(3)におけるYはテトラヒドロボラート基(BH_4)を除くアニオン性基であり、例えばフッ素基、塩素基、臭素基、ヨウ素基、ア

セトキシ基、ベンゾイルオキシ基、（2，6－ジヒドロキシベンゾイル）オキシ基、（2，5－ジヒドロキシベンゾイル）オキシ基、（3－アミノベンゾイル）オキシ基、（2，6－メトキシベンゾイル）オキシ基、（2，4，6－トリイソプロピルベンゾイル）オキシ基、1－ナフ
 5 タレンカルボン酸基、2－ナフタレンカルボン酸基、トリフルオロアセ
 トキシ基、トリフルオロメタンスルホキシ基、トリフルオロメタンスル
 ホンイミド基、テトラフルオロボラート基（ BF_4 ）などが挙げられる。
 このうち、Yとして好ましいのは、フッ素基、塩素基、臭素基、ヨウ素
 基などのハロゲン基である。

- 10 一般式（1）～（3）で示される金属錯体は、配位性の有機溶媒を1
 ないし複数個含む場合がある。ここで、配位性の有機溶媒としては、例
 えば、トルエン、キシレンなどの芳香族炭化水素溶媒、ペンタン、ヘキ
 サンなどの脂肪族炭化水素溶媒、塩化メチレンなどのハロゲン含有炭化
 水素溶媒、エーテル、テトラヒドロフランなどのエーテル系溶媒、メタ
 15 ノール、エタノール、2－プロパノール、ブタノール、ベンジルアルコ
 ールなどのアルコール系溶媒、アセトン、メチルエチルケトン、シクロ
 ヘキシルケトンなどのケトン系溶媒、アセトニトリル、DMF（ジメチ
 ルホルムアミド）、N－メチルピロリドン、DMSO（ジメチルスルホ
 キシド）、トリエチルアミンなどヘテロ原子を含む有機溶媒などが例示
 20 される。

一般式（1）及び（2）で表されるルテニウム、ロジウム及びイリジ
 ウム錯体の調製方法は、Angew. Chem., Int. Ed. Engl. Vol. 36, p285
 （1997）、J. Org. Chem. Vol. 64, p2186（1999）等に記載されている。
 すなわち、配位子Xをもつルテニウム、ロジウム又はイリジウム錯体と、
 25 スルホニルジアミン配位子の反応により合成可能である。あるいは、ス
 ルホニルジアミン配位子をもつ金属アミド錯体とHXとの反応により合

成可能である。

- 一般式 (3) で表されるルテニウム錯体の調製方法は、Angew. Chem., Int. Ed. Engl. Vol. 37, p1703 (1998) や Organometallics vol. 21, p1047 (2001) 等に記載されている。すなわち、配位子 X をもつルテニウムヒドリド錯体と、ジホスフィン配位子、次いでジアミン配位子を反応することで合成できる。あるいは、ルテニウムハロゲン化物をジホスフィン配位子、次いで、ジアミン配位子と反応し、ジホスフィン配位子及びジアミン配位子をもつルテニウムハロゲン化物錯体を調製、これを還元することで目的とするルテニウム錯体を調製できる。
- 10 一般式 (1) で表されるルテニウム錯体の出発原料となるルテニウム錯体としては、例えば、塩化ルテニウム (III) 水和物、臭化ルテニウム (III) 水和物、沃化ルテニウム (III) 水和物等の無機ルテニウム化合物、[2 塩化ルテニウム (ノルボルナジエン)] 多核体、[2 塩化ルテニウム (シクロオクター 1, 5 - ジエン)] 多核体、ビス (メチルアリル)
- 15 ルテニウム (シクロオクター 1, 5 - ジエン) 等のジエンが配位したルテニウム化合物、[2 塩化ルテニウム (ベンゼン)] 多核体、[2 塩化ルテニウム (p - シメン)] 多核体、[2 塩化ルテニウム (トリメチルベンゼン)] 多核体、[2 塩化ルテニウム (ヘキサメチルベンゼン)] 多核体等の芳香族化合物が配位したルテニウム錯体、また、ジクロロトリ
- 20 リス (トリフェニルホスフィン) ルテニウム等のホスフィンが配位した錯体、2 塩化ルテニウム (ジメチルホルムアミド)₄、クロロヒドリドトリス (トリフェニルホスフィン) ルテニウム等が用いられる。その他、光学活性ジホスフィン化合物、光学活性ジアミン化合物と置換可能な配位子を有するルテニウム錯体であれば、特に、上記に限定されるものではない。例えば、COMPREHENSIVE ORGANOMETALLIC CHEMISTRY II
- 25 Vol. 7 p294 - 296 (PERGAMON) に示された、種々のルテニウム錯体を

出発原料として用いることができる。

一般式（２）で表される不斉ロジウム錯体及び不斉イリジウム錯体の
出発原料となるロジウム及びイリジウム錯体としては、例えば塩化ロジ
ウム（Ⅲ）水和物、臭化ロジウム（Ⅲ）水和物、沃化ロジウム（Ⅲ）水
5 和物等の無機ルテニウム化合物、〔２塩化ペンタメチルシクロペンタジ
エニルロジウム〕多核体、〔２臭化ペンタメチルシクロペンタジエニル
ロジウム〕多核体、〔２ヨウ化ペンタメチルシクロペンタジエニルロジ
ウム〕多核体が用いられる。

出発原料である、ルテニウム、ロジウム、およびイリジウム錯体と配
10 位子との反応は、トルエン、キシレンなどの芳香族炭化水素溶媒、ペン
タン、ヘキサンなどの脂肪族炭化水素溶媒、塩化メチレンなどのハロゲ
ン含有炭化水素溶媒、エーテル、テトラヒドロフランなどのエーテル系
溶媒、メタノール、エタノール、２－プロパノール、ブタノール、ベン
ジルアルコールなどのアルコール系溶媒、アセトニトリル、DMF、N
15 ーメチルピロリドン及びDMSOなどヘテロ原子を含む有機溶媒からな
る群より選ばれた１種又は２種以上の溶媒中で、反応温度０℃から２０
０℃の間で行われ、この反応により金属錯体を得ることができる。

本発明の第１～第３では、一般式（１）～（３）で表される金属錯体
とケトン化合物とを極性溶媒中に入れ、加圧水素下で混合することによ
20 りケトン化合物の水素化を行うが、このときの水素の圧力は、経済性を
考慮すると１～２００気圧の範囲が好ましく、５～１５０気圧の範囲が
より好ましい。反応温度は、経済性を考慮すると－５０～１００℃の範
囲で行うことができるが、－３０～５０℃の範囲で行うことが好ましく、
２０～５０℃の範囲で行うことがより好ましい。反応時間は反応基質濃
25 度、温度、圧力等の反応条件によって異なるが、数分～数日で反応が終
了することが多く、特に５～２４時間で反応が終了することが多い。ま

た、反応生成物の精製は、カラムクロマトグラフィー、蒸留、再結晶等の公知の方法により行うことができる。なお、一般式(1)又は(2)で表される金属錯体を用いる場合には、一般式(1)又は(2)で表される金属錯体と対応するアミド錯体を混合してもよく(例えば金属錯体
5 : アミド錯体 = 1.0 : 0.1 - 1.0 モル当量)、また、一般式(1)又は(2)で表される金属錯体に対してHX(Xは前出のとおり)を添加してもよい(例えば金属錯体 : HX = 1.0 : 0.5 - 1.5 モル当量)。また、反応系内で、対応するアミド錯体とHX(例えばアミド錯体 : HX = 1.0 : 0.5 - 1.5 モル当量)から一般式(1)又は(2)の
10 金属錯体を調製した後、ケトン化合物の水素化反応を実施することもできる。

本発明の第1～第3で使用される極性溶媒としては、例えばメタノール、エタノール、2-プロパノール、2-メチル-2-プロパノール、2-メチル-2-ブタノールなどのアルコール系溶媒、テトラヒドロフ
15 ラン(THF)、ジエチルエーテルなどのエーテル系溶媒、DMSO、DMF、アセトニトリル等のヘテロ原子含有溶媒などを単独で又は併用して用いることができる。また、これらの極性溶媒と他の溶媒との混合溶媒を用いることもできる。これらの極性溶媒のうち、アルコール系溶媒が好ましく、メタノール及びエタノールがより好ましく、メタノール
20 が最も好ましい。

本発明の第1～第3で使用される一般式(1)～(3)で表される金属錯体の量は、金属錯体のモルに対するケトン化合物のモル比をS/C(Sは基質、Cは触媒)と表すとする、S/Cが10～100,000の範囲で用いることができ、50～10,000の範囲で用いること
25 が好ましい。

本発明の第1～第3の反応系中には、必要に応じて、無機又は有機物

の塩を添加することができる。具体的には、過塩素酸リチウム、過塩素酸ナトリウム、過塩素酸マグネシウム、過塩素酸バリウム、過塩素酸カルシウム、ヘキサフルオロリン酸リチウム、ヘキサフルオロリン酸ナトリウム、ヘキサフルオロリン酸マグネシウム、ヘキサフルオロリン酸カルシウム、テトラフルオロホウ酸リチウム、テトラフルオロホウ酸ナトリウム、テトラフルオロホウ酸マグネシウム、テトラフルオロホウ酸カルシウム、テトラフェニルホウ酸リチウム、テトラフェニルホウ酸ナトリウム、テトラフェニルホウ酸マグネシウム、およびテトラフェニルホウ酸カルシウムなどのイオン性の塩が例示される。これらの塩を、金属錯体に対して1～1000モル当量添加してケトンの水素化反応を実施
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
115
120
125
130
135
140
145
150
155
160
165
170
175
180
185
190
195
200
205
210
215
220
225
230
235
240
245
250
255
260
265
270
275
280
285
290
295
300
305
310
315
320
325
330
335
340
345
350
355
360
365
370
375
380
385
390
395
400
405
410
415
420
425
430
435
440
445
450
455
460
465
470
475
480
485
490
495
500
505
510
515
520
525
530
535
540
545
550
555
560
565
570
575
580
585
590
595
600
605
610
615
620
625
630
635
640
645
650
655
660
665
670
675
680
685
690
695
700
705
710
715
720
725
730
735
740
745
750
755
760
765
770
775
780
785
790
795
800
805
810
815
820
825
830
835
840
845
850
855
860
865
870
875
880
885
890
895
900
905
910
915
920
925
930
935
940
945
950
955
960
965
970
975
980
985
990
995

本発明の第1～第3における一般式(1)～(3)で表される金属錯体中の不斉炭素は、いずれも(R)体又は(S)体のいずれかとして得ることができるものである。これらの(R)体又は(S)体のいずれかを選択することにより、所望する(R)体又は(S)体の光学活性アルコールを高選択的に得ることができる。

本発明の第1～第3では、反応系内に塩基を添加することは必須ではないから、塩基を添加しなくてもケトン化合物の水素化反応が速やかに進行する。ただし、塩基を添加することを排除するものではなく、例えば反応基質に応じて少量の塩基を添加したりしてもよい。

このように、本発明の第1～第3の光学活性アルコールの製法は、塩基を必須とせずにケトン化合物の水素化を行うものであるから、塩基に不安定なケトン化合物を水素化して対応する光学活性アルコールを得ることができる。具体的には、環状ケトンの水素化して光学活性環状アルコールを製造したり、オレフィン部位又はアセチレン部位を有するケト

ン（特に α 、 β -結合がオレフィン部位又はアセチレン部位であるケトン）を水素化してオレフィン部位又はアセチレン部位を有する光学活性アルコールを製造したり、水酸基を有するケトンを水素化して水酸基を有する光学活性アルコールを製造したり、ハロゲン置換基を有するケトン（特に α 位にハロゲン置換基を有するケトン）を水素化してハロゲン置換基を有する光学活性アルコールを製造したり、クロマノン誘導体を水素化して光学活性クロマノールを製造したり、ジケトンを水素化して光学活性ジオールを製造したり、ケトエステルを水素化して光学活性ヒドロキシエステルを製造したり、ケトアミドを水素化して光学活性ヒドロシミアミドを製造したりすることができる。なお、図1～図7に本発明の第1～第3を適用可能なケトン化合物の代表例を列挙する。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の光学活性アルコールの製法を適用可能なケトン化合物の構造を表す第1の説明図、図2は、同じくケトン化合物の構造を表す第2の説明図、図3は、同じくケトン化合物の構造を表す第3の説明図、図4は、同じくケトン化合物の構造を表す第4の説明図、図5は、同じくケトン化合物の構造を表す第5の説明図、図6は、同じくケトン化合物の構造を表す第6の説明図、図7は、同じくケトン化合物の構造を表す第7の説明図である。

実施例

本発明におけるカルボニル化合物の水素化反応は、反応形式が、バッチ式においても連続式においても実施することができる。以下、実施例を示し、さらに詳しく本発明について説明する。もちろん、本発明は以下の実施例によって限定されるものではない。

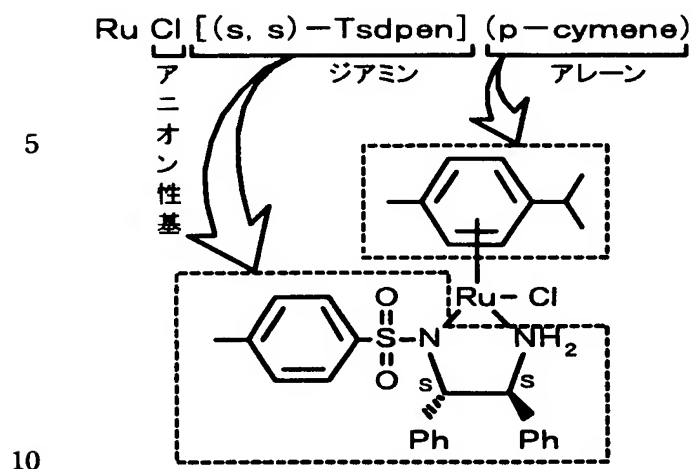
下記の実施例において、反応に使用した溶媒は、乾燥、脱気したものを
 用いた。また、NMRは、JNM-LA400 (400 MHz, 日本
 電子社製) 及びJNM-LA500 (500 MHz, 日本電子社製) を
 用いて測定した。¹H NMRはテトラメチルシラン (TMS) を内部標
 5 準物質に用い、³¹P NMRは85%リン酸を外部標準物質に用い、それ
 らの信号を $\delta = 0$ (δ は化学シフト) とした。光学純度は、ガスクロマ
 トグラフィー (GC) 又は高速液体クロマトグラフィー (HPLC) に
 より測定した。GCはChirasil-DEX CB (0.25mm \times 25m, DF=0.25
 μ m) (CHROMPACK社製) を用いて測定し、HPLCはキラル化合
 10 物分離用カラム (ダイセル社製) を用いて測定した。また、上記一般式
 (1) の金属錯体は公知文献 Angew. Chem., Int. Ed. Engl. Vol. 36,
 p285 (1997)、上記一般式 (2) の金属錯体は公知文献 J. Org. Chem. V
 ol. 64, p2186 (1999)、上記一般式 (3) の金属錯体は公知文献 Angew.
 Chem., Int. Ed. Engl. Vol. 37, p1703 (1998) や Organometallics Vol. 21,
 15 p1047 (2001) に記載された手法に準じて合成した。

[実施例 1]

4-フェニル-3-ブチン-2-オンの水素化反応による (S)-4-
 フェニル-3-ブチン-2-オール合成例を以下に示す。ルテニウ
 ム錯体 RuCl[(S,S)-Tsdpen] (p-cymene) (1.6mg, 0.0025mmol) を50mL
 20 のステンレス製オートクレーブに仕込み、アルゴン置換した。4-フェ
 ニル-3-ブチン-2-オン (0.291mL, 2mmol)、メタノール (5m
 L) を添加し、水素で加圧後、5回置換した。水素を50気圧まで仕込み
 反応を開始した。30℃で11時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻した。生成
 物の¹H NMRとHPLC分析から、90% eeの (S)-4-フェニル-
 25 3-ブチン-2-オールが63%収率で生成していた。なお、ここでのル
 テニウム錯体の表記は、左から金属原子、アニオン性基、ジアミン配位

子、アレーン配位子の順に並べることとした（下記式（４）参照）。

式 (4)



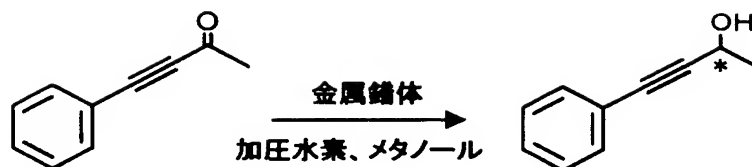
[比較例 1]

実施例 1 の条件で、水素圧をかけないで反応すると、目的物は全く得られなかった。

[实施例 2-10]

15 用いる触媒や水素圧を変更した以外は、実施例 1 と同じ条件で反応を実施して、(S)-4-フェニル-3-ブチン-2-オールを合成した。結果を表 1 にまとめて示す。

表 1



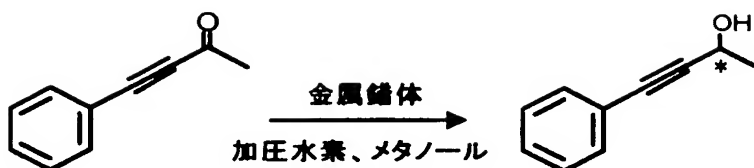
実施例	chiral Ru cat	H ₂ (atm)	yield (%)	ee (%)	config
2	RuCl[(S,S)-Tsdpen](<i>p</i> -cymene)	9	18	81	S
3	RuCl[(S,S)-Tsdpen](dmb)	50	32	91	S
4	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)	50	100	79	S
5	RuCl[(S,S)-Tsdpen](teb)	50	61	91	S
6	RuCl[(S,S)-Tsdpen](durene)	50	29	71	S
7	RuCl[(S,S)-Tsdpen](pmb)	50	30	89	S
8	RuCl[(S,S)-Tsdpen](hmb)	50	78	88	S
9	RuCl[(S,S)-Msdpen](<i>p</i> -cymene)	50	78	88	S
10	RuCl[(S,S)-(5,6,7,8-tetrahydronaphthalene-2-yl)sulfonyl-dpen](<i>p</i> -cymene)	50	69	91	S

Conditions: chiral Ru cat 0.0025 mmol, CH₃OH 5 ml, S/C = 800, temp 30 °C, time 11 h, [ketone] = 0.4 M, dmb: 1,4-dimethylbenzene, teb: 1,3,5-triethylbenzene, durene: 1,2,4,5-tetramethylbenzene, pmb: pentamethylbenzene, hmb: hexamethylbenzene.

[実施例 11 - 19]

基質の濃度や反応温度を変更したり、添加剤を使用した以外には、実施例 1 と同じ条件で反応を実施して、(S) - 4 - フェニル - 3 - ブチン - 2 - オールを合成した。結果を表 2 にまとめて示す。

表 2



実施例	additive	temp, °C	yield (%)	ee (%)	config
11	-	50	50	87	S
12 ^a	-	30	27	75	S
13 ^b	-	30	33	88	S
14	NaClO ₄ 0.125 mmol	30	88	92	S
15	LiClO ₄ 0.125 mmol	30	80	92	S
16	KClO ₄ 0.125 mmol	30	64	92	S
17	BaClO ₄ 0.125 mmol	30	69	93	S
18	NaPF ₆ 0.125 mmol	30	75	90	S
19	NaBF ₄ 0.125 mmol	30	77	93	S

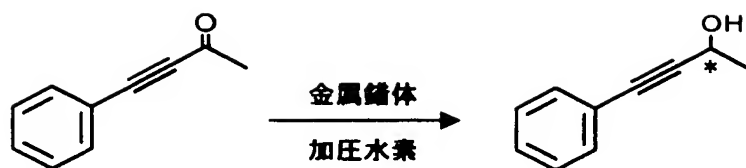
Conditions: [ketone] = 0.4 M in CH₃OH, RuCl[(S,S)-Tsdpen](*p*-cymene) 0.0025 mmol, S/C = 800, H₂ 50 atm, time 11 h, solvent 5 ml,

^a [ketone] = 0.1 M, ^b [ketone] = 1.0 M.

〔実施例 20 - 26〕

用いる触媒や溶媒の種類、および添加剤を使用した以外には、実施例 1 と同じ条件で反応を実施して、(S) - 4 - フェニル - 3 - ブチン - 2 - オールを合成した。結果を表 3 にまとめて示す。

表 3



実施例	chiral Ru cat	solvent	additive	yield (%)	ee (%)	config
20	RuCl[(S,S)-Tsdpen](<i>p</i> -cymene)	CH ₃ OH:H ₂ O = 99:1	NaClO ₄ 0.125 mmol	79	89	S
21	RuCl[(S,S)-Tsdpen](<i>p</i> -cymene)	CH ₃ OH:THF = 80:20	NaClO ₄ 0.125 mmol	53	93	S
22	RuCl[(S,S)-Tsdpen](<i>p</i> -cymene)	DMF:H ₂ O = 80:20	NaClO ₄ 0.125 mmol	37	92	S
23	RuCl[(S,S)-Tsdpen](<i>p</i> -cymene)	CH ₃ OH	NaClO ₄ 0.025 mmol	68	92	S
24	RuCl[(S,S)-Tsdpen](<i>p</i> -cymene)	CH ₃ OH	NaClO ₄ 2.5 mmol	64	92	S
25	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene) ^a	CH ₃ OH	NaClO ₄ 0.125 mmol	69	90	S
26	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene) ^b	CH ₃ OH	NaClO ₄ 0.125 mmol	90	94	S

Conditions: [ketone] = 0.4 M, chiral Ru cat 0.0025 mmol, S/C = 800,
H₂ 50 atm, temp 30 °C, time 11 h, solvent 5 ml, ^a S/C = 2000. ^b S/C = 2000, H₂ 100 atm.

[実施例 27]

1-インダノンの水素化反応による (S)-インダノールの合成例を
 5 以下に示す。ルテニウム錯体 RuCl[(S,S)-Tsdpen](*p*-cymene) (1.6mg, 0.0025mmol) と 1-インダノン (330 mg, 2.5 mmol) を 50 mL のステン
 レス製オートクレーブに仕込み、アルゴン置換した、メタノール (5m
 L) を添加し、水素で加圧後、5 回置換した。水素を 50 気圧まで仕込み
 反応を開始した。30℃で 11 時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻した。生成
 10 物の ¹H NMR と HPLC 分析から、98% ee の (S)-インダノールが
 48% 収率で生成していた。

[実施例 28-31]

用いる触媒や溶媒の種類、水素圧、反応時間、および添加剤を使用した以外には、実施例 27 と同じ条件で反応を実施して、光学活性インドノールを合成した。結果を表 4 にまとめて示す。

5 表 4



実施例	chiral Ru cat	solvent	H ₂ (atm)	yield (%)	ee (%)	config
28	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)	CH ₃ OH	50	89	98	S
29	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)	C ₂ H ₅ OH	50	20	76	S
30	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)	CH ₃ OH	100	86	98	S
31	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene) ^a	CH ₃ OH	50	98	98	S

Conditions: chiral Ru cat 0.0025 mmol, solvent 5 ml, S/C = 1000, temp 30 °C, time 11 h, [ketone] = 0.5 M. ^a 24 h.

[実施例 32]

α-クロロアセトフェノンの水素化反応による光学活性 2-クロロ-1-フェニルエタノールの合成例を以下に示す。ルテニウム錯体 RuCl

10 [(S, S)-Tsdpen] (mesitylene) (1mg, 0.0016mmol) と α-クロロアセトフェノン (247mg, 1.6mmol) を 50mL のステンレス製オートクレーブに仕込み、アルゴン置換後、メタノール (3.2mL) を添加した。水素を加圧し、5 回置換した。水素を 50 気圧まで仕込み反応を開始した。30℃ で 24 時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻し、生成物の ¹H NMR と GC 分析から、9

15 8% ee の (R) - 2-クロロ-1-フェニルエタノールが 100% 収率で得られていることがわかった。

[実施例 3 3]

α -クロロアセトフェノンの水素化反応による光学活性 2-クロロ-1-フェニルエタノールの合成例を以下に示す。ルテニウム錯体 RuCl [(S, S)-Tsdpen] (mesitylene) (1mg, 0.0016mmol) と α -クロロアセトフェノン (1235mg, 8.0mmol) を 50mL のステンレス製オートクレーブに仕込み、アルゴン置換後、メタノール (16.0mL) を添加した。水素を加圧し、5回置換した。水素を100気圧まで仕込み反応を開始した。30℃で22時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻し、生成物の¹H NMRとGC分析から、97% ee の (R) - 2-クロロ-1-フェニルエタノールが85%収率で得られていることがわかった。

[実施例 3 4 - 4 0]

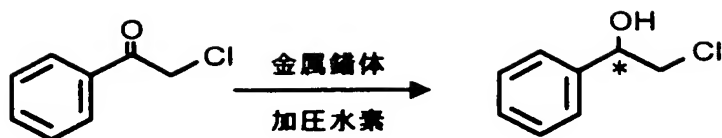
用いる触媒の種類、水素圧、反応時間を変更した以外には、実施例 3 2 と同じ条件で反応を実施して、(R) - 2-クロロ-1-フェニルエタノールを合成した。結果を表 5 にまとめて示す。

15

20

25

表 5



5	実施例	chiral Ru cat	S/C	H ₂ (atm)	yield (%)	ee (%)	config
	34	RuCl[(S,S)-Tsdpen](<i>p</i> -cymene)	1000	50	48	92	<i>R</i>
	35	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)	1500	50	100	98	<i>R</i>
	36	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)	2000	50	88	98	<i>R</i>
	37	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)	2000	100	100	98	<i>R</i>
10	38	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)	3000	100	100	97	<i>R</i>
	39	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)	4000	100	96	98	<i>R</i>
	40	RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene) ^a	5000	50	46	97	<i>R</i>

Conditions: chiral Ru cat 0.0016 mmol, solvent CH₃OH, temp 30 °C, time 24 h, [ketone] = 0.5 M. ^a 15 h.

15 [実施例 4 1]

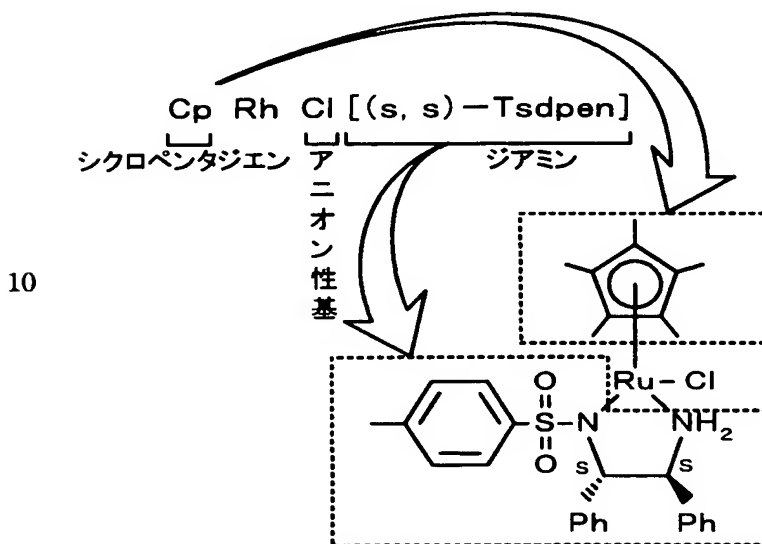
α -クロロアセトフェノンの水素化反応による光学活性 2-クロロ-1-フェニルエタノールの合成例を以下に示す。ルテニウム錯体 Ru[(S,S)-Tsdpen](*p*-cymene) と HBF₄ から調製された触媒を用い、メタノール/*t*-ブチルアルコール 1 : 1 混合物中で 50 atm の水素圧をかけて反応を実施した以外には、実施例 3 2 と同じ条件で反応を実施して、95% ee の (R)-2-クロロ-1-フェニルエタノールを収率 100% で得た。

[実施例 4 2]

α -クロロアセトフェノンの水素化反応による光学活性 2-クロロ-1-フェニルエタノールの合成例を以下に示す。ルテニウム錯体 CpRhC 1[(S,S)-Tsdpen] (Cp: ペンタメチルシクロペンタジエン) を触媒として用い、11 時間反応した以外には、実施例 3 2 と同じ条件で反応を実施

して、93% ee の (R) - 2 - クロロ - 1 - フェニルエタノールを収率44%で得た。なお、このルテニウム錯体の表記は、左からシクロペンタジエン配位子、金属原子、アニオン性基、ジアミン配位子の順に並べてある（下記式（5）参照）。

5 式（5）



15

[実施例 4 3]

α -クロロ-p-メトキシアセトフェノンの水素化反応による光学活性 2-クロロ-1-(p-メトキシフェニル)エタノールの合成例を以下に示す。ルテニウム錯体 $\text{RuCl}[(S, S)\text{-Tsdpen}]$ (mesitylene) (1mg, 0.0016mmol) と α -クロロ-p-メトキシアセトフェノン (1477mg, 8.0mmol)、 NaClO_4 (10mg, 0.08mmol) を 50mL のステンレス製オートクレーブに仕込み、アルゴン置換後、メタノール (16.0mL) を添加した。水素を加圧し、5回置換した。水素を100気圧まで仕込み反応を開始した。30℃で24時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻し、生成物の $^1\text{H NMR}$ とGC分析から、98% ee の (R) - 2 - クロロ - 1 - (p - メトキシフェニル) エタノールが93%収率で生成していることがわかった。

20

25

[実施例 4 4]

α -クロロ-p-メトキシアセトフェノンの水素化反応による光学活性 2-クロロ-1-(p-メトキシフェニル)エタノールの合成例を以下に示す。ルテニウム錯体 RuCl[(S, S)-Tsdpen] (mesitylene) (1mg, 0.0016mmol) と α -クロロ-p-クロロアセトフェノン (605mg, 3.2mmol)、NaClO₄ (10mg, 0.08mmol) を 50mL のステンレス製オートクレーブに仕込み、アルゴン置換後、メタノール (6.4mL) を添加した。水素を加圧し、5 回置換した。水素を 100 気圧まで仕込み反応を開始した。30℃ で 24 時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻し、生成物の ¹H NMR と GC 分析から、95% ee の (R)-2-クロロ-1-(p-クロロフェニル)エタノールが 93% 収率で生成していることがわかった。

[実施例 4 5]

クロマノンの水素化反応による光学活性 4-クロマノールの合成例を以下に示す。アルゴン下、50mL のステンレス製オートクレーブに、RuCl[(S, S)-Tsdpen] (mesitylene) (1.0mg, 0.0016mmol) を仕込んだ。これに 4-クロマノン (474mg, 3.2mmol)、メタノール (6.4mL) を添加し、水素で加圧後、5 回置換した。水素を 50 気圧まで仕込み反応を開始した。30℃ で 23 時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻した。生成物の ¹H NMR と HPLC 分析から、91% ee の (S)-4-クロマノールが 100% 収率で生成していた。

[実施例 4 6]

クロマノンの水素化反応による光学活性 4-クロマノールの合成例を以下に示す。アルゴン下、50mL のステンレス製オートクレーブに、RuCl[(S, S)-Tsdpen] (p-cymene) (1.0mg, 0.0016mmol) を仕込んだ。これに 4-クロマノン (474mg, 3.2mmol)、メタノール (6.4mL) を添加し、水素で加圧後、5 回置換した。水素を 50 気圧まで仕込み反応を開

始した。30℃で23時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻した。生成物を¹H NMRとHPLC分析から、97% eeの(S)-4-クロマノールが85%収率で生成していた。

[実施例47]

- 5 クロマノンの水素化反応による光学活性4-クロマノールの合成例を以下に示す。アルゴン下、50mLのステンレス製オートクレーブに、RuCl[(S,S)-Tsdpen](p-cymene)(1.0mg, 0.0016mmol)、NaClO₄(10mg, 0.08mmol)を仕込んだ。これに4-クロマノン(1185mg, 8.0mmol)、メタノール(16mL)を添加し、水素で加圧後、5回置換した。水素を5
10 0気圧まで仕込み反応を開始した。30℃で23時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻した。生成物の¹H NMRとHPLC分析から、97% eeの(S)-4-クロマノールが93%収率で生成していた。

[実施例48]

- 3'-ヒドロキシアセトフェノンの水素化反応による光学活性(3'-
15 -ヒドロキシフェニル)エタノールの合成例を以下に示す。アルゴン下、50mLのステンレス製オートクレーブに、RuCl[(S,S)-Tsdpen](mesitylene)(0.93mg, 0.0015mmol)、NaClO₄(9.2mg, 0.075mmol)を仕込んだ。これに3'-ヒドロキシアセトフェノン(613mg, 4.5mmol)、メタノール(9mL)を添加し、水素で加圧後、5回置換した。水素を100気
20 圧まで仕込み反応を開始した。30℃で20時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻した。生成物の¹H NMRとHPLC分析から、98% eeの光学活性(3'-ヒドロキシフェニル)エタノールが98%収率で生成していた。

[実施例49]

- 5, 6-ジヒドロ-4H-チエノ[2, 3-b]チオピラン-4-オン
25 -7, 7-ジオキシドの水素化反応による光学活性5, 6-ジヒドロ-4H-チエノ[2, 3-b]チオピラン-4-ヒドロキシ-7, 7-ジオ

キシドの合成例を以下に示す。アルゴン下、50mL のステンレス製オートクレーブに、RuCl[(S, S)-Tsdpen] (mesitylene) (0.93mg, 0.0015mmol)、NaClO₄ (9.2mg, 0.075mmol) を仕込んだ。これに5, 6-ジヒドロ-4H-チエノ[2, 3-b]チオピラン-4-オン-7, 7-ジオキシド (455mg, 2.25mmol)、メタノール (22.5mL) を添加し、水素で加圧後、5回置換した。水素を100気圧まで仕込み反応を開始した。30℃で24時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻した。生成物の¹H NMRとHPLC分析から、98% ee の (S) - 5, 6-ジヒドロ-4H-チエノ[2, 3-b]チオピラン-4-ヒドロキシー-7, 7-ジオキシドが100%収率で生成していた。

[実施例 50]

アセトールの水素化反応による光学活性 1, 2-プロパンジオールの合成例を以下に示す。アルゴン下、50mL のステンレス製オートクレーブに、RuCl[(S, S)-Tsdpen] (mesitylene) (0.93mg, 0.0015mmol)、NaClO₄ (9.2mg, 0.075mmol) を仕込んだ。これにアセトール (111mg, 1.5mmol)、メタノール (3.0 mL) を添加し、水素で加圧後、5回置換した。水素を100気圧まで仕込み反応を開始した。30℃で17時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻した。生成物の¹H NMRとHPLC分析から、63% ee の (R) - 1, 2-プロパンジオールが97%収率で生成していた。

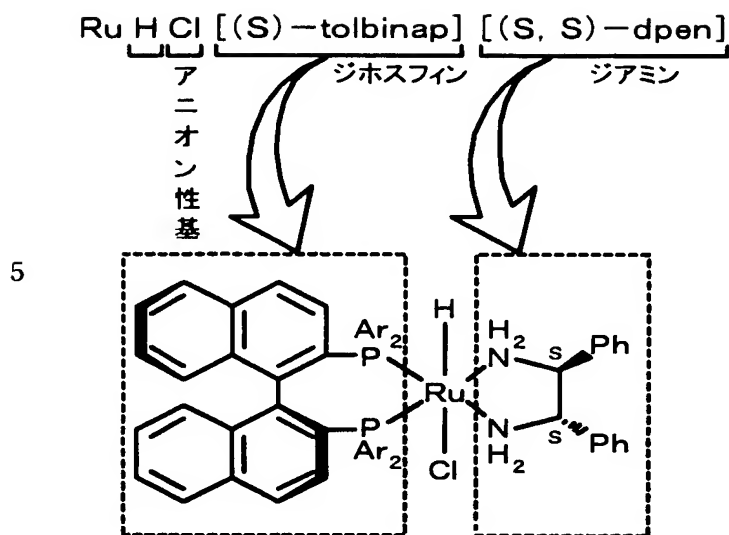
[実施例 51]

2, 3-ブタンジオンの水素化反応による光学活性 2, 3-ブタンジオールの合成例を以下に示す。アルゴン下、50mL のステンレス製オートクレーブに、RuCl[(S, S)-Tsdpen] (p-cymene) (0.95mg, 0.0015mmol)、NaClO₄ (9.2mg, 0.075mmol) を仕込んだ。これに2, 3-ブタンジオン (129mg, 1.5mmol)、メタノール (3.0 mL) を添加し、水素で加圧後、5回置換した。水素を50気圧まで仕込み反応を開始した。30℃で18

時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻した。生成物の¹H NMRとHPLC分析から、(S, S) - 2, 3 - ブタンジオールが47%収率で生成していた。

[実施例 5 2]

- 5 4 - フェニル - 3 - ブチン - 2 - オンの水素化反応による (R) - 4 - フェニル - 3 - ブチン - 2 - オールの合成例を以下に示す。ルテニウム錯体 RuHCl[(S) - tolbinap] [(S, S) - dpen] (1mg, 0.00097mmol) を50mLのステンレス製オートクレーブに仕込み、アルゴン置換後、4 - フェニル - 3 - ブチン - 2 - オン (0.283mL, 1.94mmol)、メタノール (1.9
 - 10 mL) を添加し、水素を加圧し置換した (5回)。水素を9気圧まで仕込み反応を開始した。30℃で11時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻し、反応液の¹H NMRとHPLCにより生成物である4 - フェニル - 3 - ブチン - 2 - オールの定量と光学純度を求めたところ、74% ee の (R) - 4 - フェニル - 3 - ブチン - 2 - オールが65%収率で生成していた。な
 - 15 お、このルテニウム錯体の表記は、左から金属原子、水素原子、アニオン性基、ジホスフィン配位子、ジアミン配位子の順に並べてある (下記式 (6) 参照)。
- 式 (6)

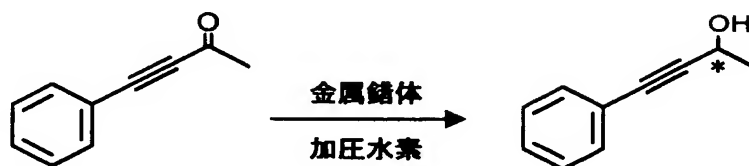


10

[実施例 5 3 - 5 4]

ルテニウム錯体 $\text{RuHCl}[(\text{S}, \text{S})\text{-tolbinap}][(\text{S}, \text{S})\text{-dpen}]$ を触媒として用い、反応温度や添加剤以外には、実施例 5 2 と同じ条件で反応した結果を表 6 に示す。

15 表 6



実施例	chiral Ru cat	temp, °C	additive	yield (%)	ee (%)	config
53	$\text{RuHCl}[(\text{S})\text{-tolbinap}][(\text{S}, \text{S})\text{-dpen}]$	50	-	100	75	R
54	$\text{RuHCl}[(\text{S})\text{-tolbinap}][(\text{S}, \text{S})\text{-dpen}]$	30	NaClO_4 0.05 mol	96	75	R
2 ^a	$\text{RuH}(\text{BH}_4)[(\text{S})\text{-tolbinap}][(\text{S}, \text{S})\text{-dpen}]$	30	NaClO_4 0.05 mol	20	76	R

Conditions: chiral Ru cat 0.001 mmol, CH_3OH 2 ml, S/C = 2000, time 11 h, H_2 9 atm, [ketone] = 1.0 M.

^a 比較例

[比較例 2]

ルテニウム錯体 $\text{RuH}(\text{BH}_4)[(\text{S}, \text{S})\text{-tolbinap}][(\text{S}, \text{S})\text{-dpen}]$ を触媒として用い、反応温度や添加剤以外には、実施例 5 2 と同じ条件で反応した結果を表 6 に示す。

5 [比較例 3]

ルテニウム錯体 $\text{RuCl}_2[(\text{S})\text{-tolbinap}][(\text{S}, \text{S})\text{-dpen}]$ (1mg, 0.00097mmol) と KOt-Bu (0.1mg, 0.00097mmol) を 50mL のステンレス製オートクレーブに仕込み、アルゴン置換後、4-フェニル-3-ブチン-2-オン (0.283mL, 1.94mmol)、メタノール (1.9mL) を添加し、水素を加
10 圧し置換した (5 回)。水素を 9 気圧まで仕込み反応を開始した。30℃ で 11 時間攪拌後、反応圧力を常圧に戻し、反応液の $^1\text{H NMR}$ より 4-フェニル-3-ブチン-2-オールが極微量しか生成していなかった。

[比較例 4]

2-プロパノール中で反応を実施した以外は、比較例 2 と同様、4-
15 フェニル-3-ブチン-2-オンを反応したが、反応液の $^1\text{H NMR}$ より 4-フェニル-3-ブチン-2-オールは極微量しか生成していなかった。

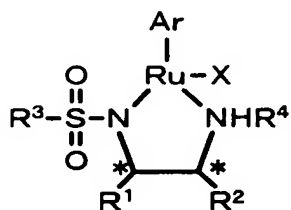
産業上の利用の可能性

20 本発明は、医薬、農薬、あるいは多くの汎用化学品の合成中間体等としての光学活性アルコールを製造するのに利用される。

請求の範囲

1. 一般式（1）で表される金属錯体とケトン化合物とを極性溶媒に入れ、加圧水素下で混合することによりケトン化合物を水素化して光学活性アルコールを製造する、光学活性アルコールの製法。

5 一般式（1）



10

（一般式（1）中、 R^1 及び R^2 は、同一であっても互いに異なってもよく、アルキル基、置換基を有していてもよいフェニル基、置換基を有していてもよいナフチル基、置換基を有していてもよいシクロアルキル基及び R^1 と R^2 とが一緒になって形成された非置換若しくは置換基を有する脂環式環からなる群より選ばれた一種であり、

15

R^3 は、アルキル基、パーフルオロアルキル基、置換基を有していてもよいナフチル基、置換基を有していてもよいフェニル基及びカンファー基からなる群より選ばれた一種であり、

R^4 は、水素原子又はアルキル基であり、

20

Ar は、置換基を有していてもよいベンゼンであり、

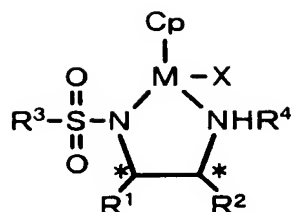
X は、アニオン性基であり、

* は、不斉炭素を示す。）

25

2. 一般式（2）で表される金属錯体とケトン化合物とを極性溶媒に入れ、加圧水素下で混合することによりケトン化合物を水素化して光学活性アルコールを製造する、光学活性アルコールの製法。

一般式（2）



5

(一般式(2)中、 R^1 及び R^2 は、同一であっても互いに異なっているもよく、アルキル基、置換基を有しているもよいフェニル基、置換基を有しているもよいナフチル基、置換基を有しているもよいシクロアルキル基及び R^1 と R^2 とが一緒になって形成された非置換若しくは置換基を
10 有する脂環式環からなる群より選ばれた一種であり、

R^3 は、アルキル基、パーフルオロアルキル基、置換基を有しているもよいナフチル基、置換基を有しているもよいフェニル基及びカンファ一基からなる群より選ばれた一種であり、

R^4 は、水素原子又はアルキル基であり、

15 Cpは、置換基を有しているもよいシクロペンタジエンであり、

Mは、ロジウム又はイリジウムであり、

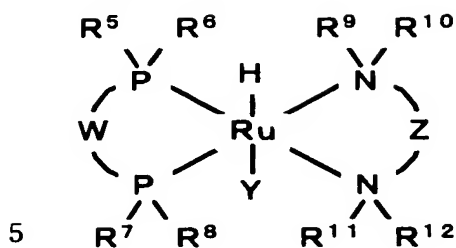
Xは、アニオン性基であり、

*は、不斉炭素を示す。)

3. 前記一般式(1)又は(2)中、 R^1 、 R^2 及び R^3 は、同一であっても
20 も互いに異なっているもよく、フェニル基、炭素数1~5のアルキル基を有するフェニル基、炭素数1~5のアルコキシ基を有するフェニル基又はハロゲン置換基を有するフェニル基である、請求項1又は2に記載の光学活性アルコールの製法。

4. 一般式(3)で表される金属錯体とケトン化合物とを極性溶媒に入
25 れ、加圧水素下で混合することによりケトン化合物を水素化して光学活性アルコールを製造する、光学活性アルコールの製法。

一般式 (3)



(一般式 (3) 中、Wは、置換基を有していてもよい結合鎖であり、
R⁵~R⁸は、同じであっても異なってもよく、置換基を有していてもよい炭化水素基であり、R⁵とR⁶とが一緒になって置換基を有していてもよい炭素鎖環を形成していてもよいしR⁷とR⁸とが一緒になって置換基を有していてもよい炭素鎖環を形成していてもよく、

R⁹~R¹²は、同じであっても異なってもよく、水素原子又は置換基を有していてもよい炭化水素基であり、

Zは、置換基を有していてもよい炭化水素鎖であり、

15 Yは、BH₄を除くアニオン性基であり、

ルテニウムの各配位子は、どのように配置されていてもよい。)

5. 前記一般式 (3) 中、R⁵R⁶P-W-P R⁷R⁸につき、Wは2位及び2'位にてリン原子と結合し他の位置のいずれかに置換基を有していてもよいピナフチル基である、請求項4に記載の光学活性アルコールの
20 製法。

6. 前記極性溶媒は、メタノール又はエタノールである、請求項1~5のいずれかに記載の光学活性アルコールの製法。

7. 塩基を添加せずに行う、請求項1~6のいずれかに記載の光学活性アルコールの製法。

25 8. 前記ケトン化合物は、塩基に不安定なケトン化合物である、請求項1~7のいずれかに記載の光学活性アルコールの製法。

9. 前記ケトン化合物は、環状ケトン、オレフィン部位を有するケトン、アセチレン部位を有するケトン、水酸基を有するケトン、ハロゲン置換基を有するケトン、クロマノン誘導体、ジケトン、ケトエステル又はケトアミドである、請求項 1 ～ 8 のいずれかに記載の光学活性アルコール

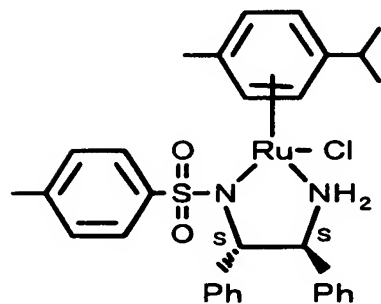
5 化合物の製造方法。

10. 前記ケトン化合物は、 α 位にハロゲン置換基を有するケトン化合物又は α , β -アルキニルケトンである、請求項 1 ～ 9 のいずれかに記載の光学活性アルコールの製法。

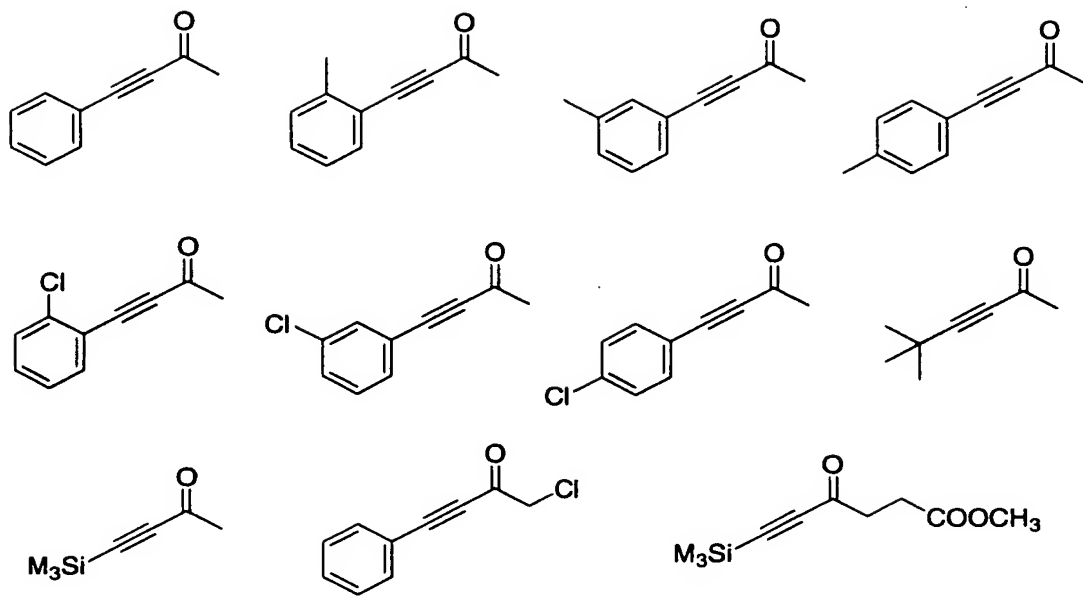
要約書

下記式で表されるルテニウム錯体 $\text{RuCl}[(S, S)\text{-Tsdpen}](p\text{-cymene})$ とケトン化合物とを極性溶媒に入れ、加圧水素下で混合することによりケトン化合物を水素化して光学活性アルコールを製造する。

5

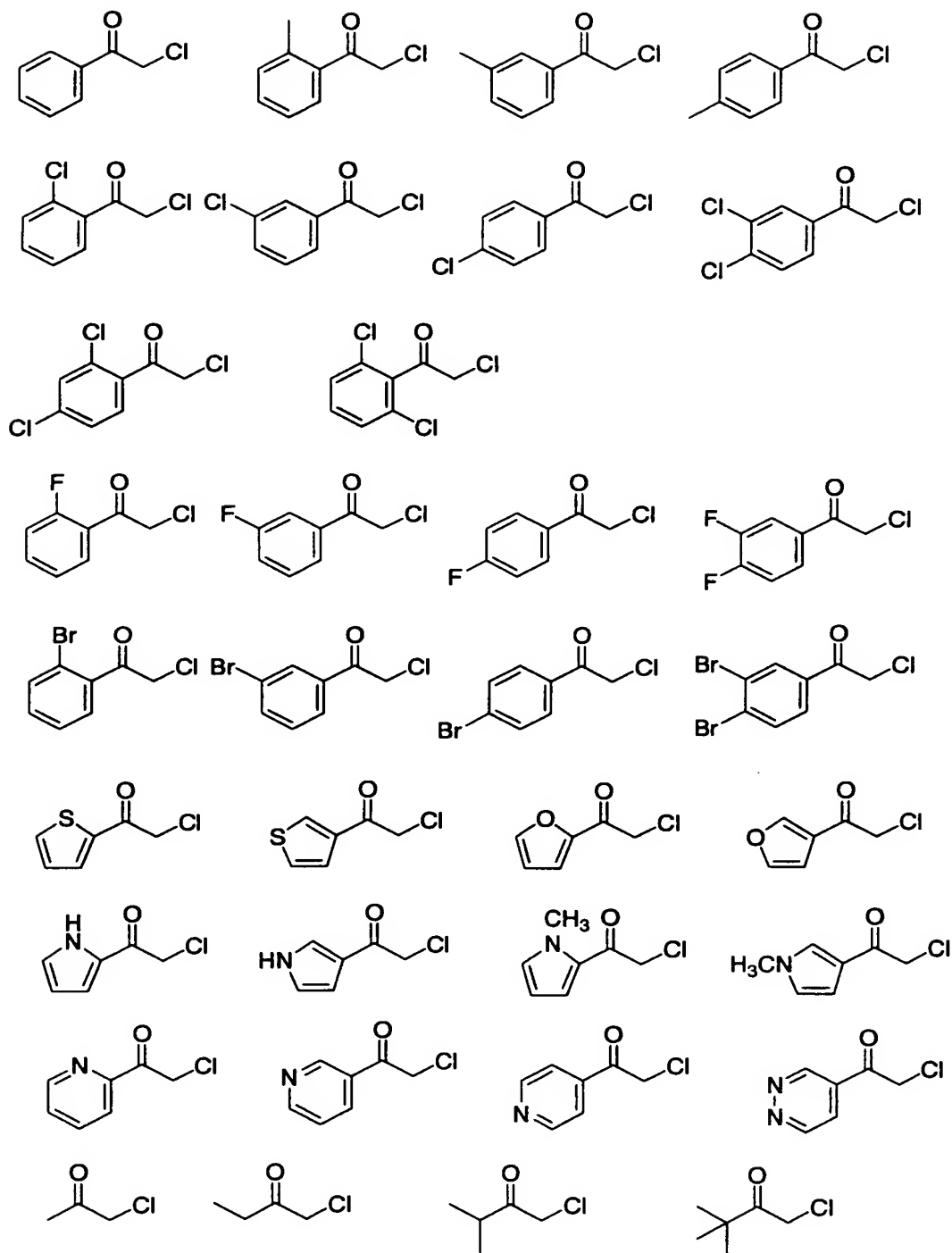


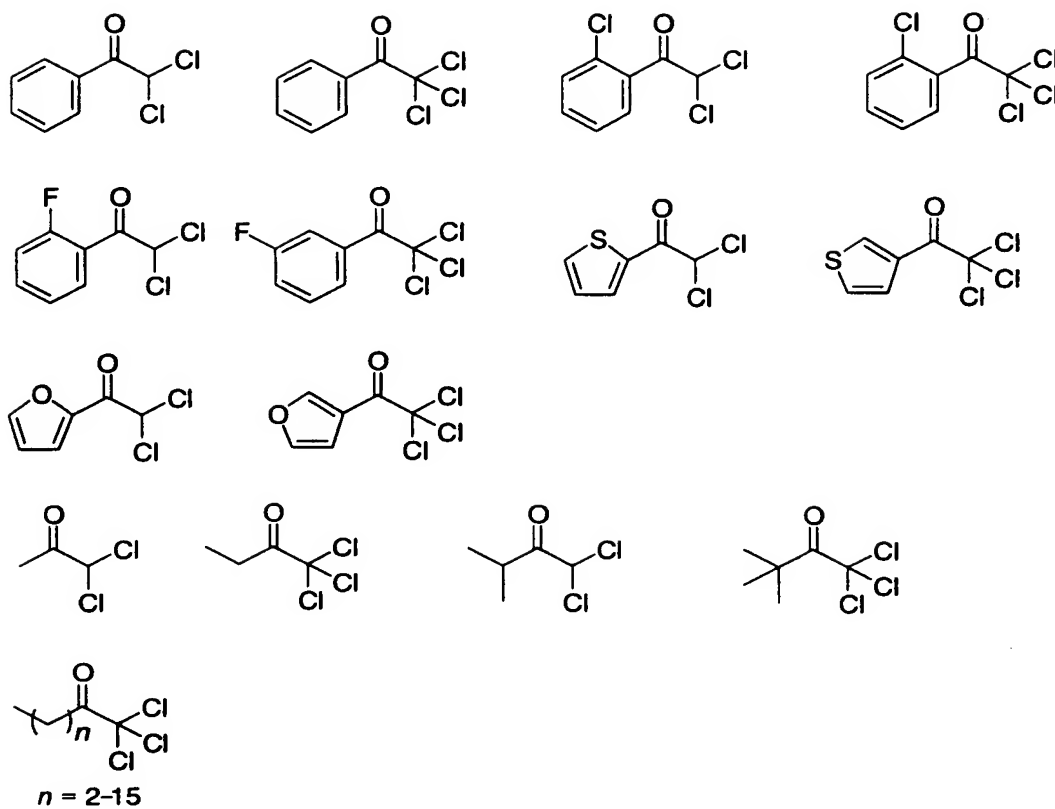
10



2/7

图2





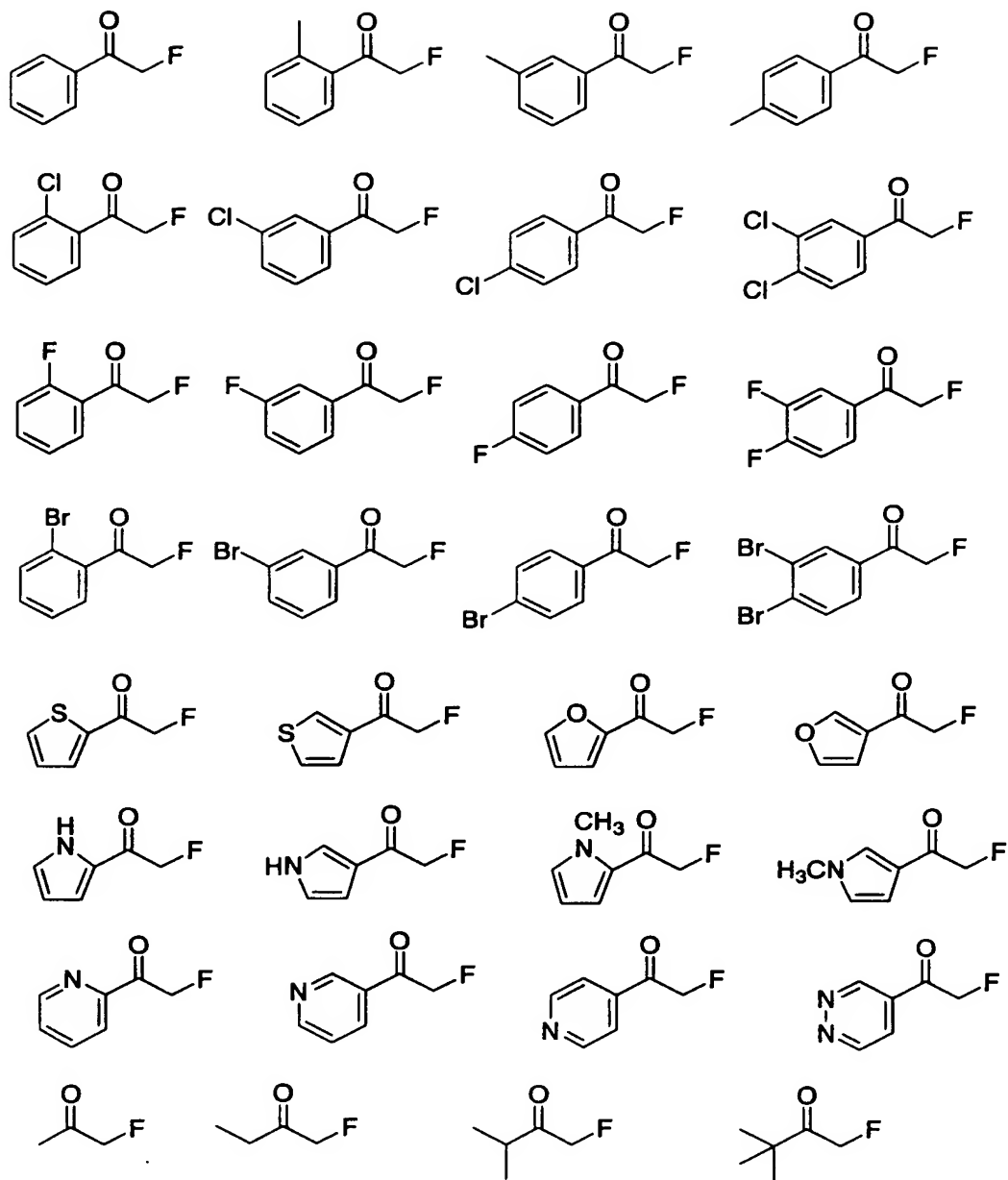
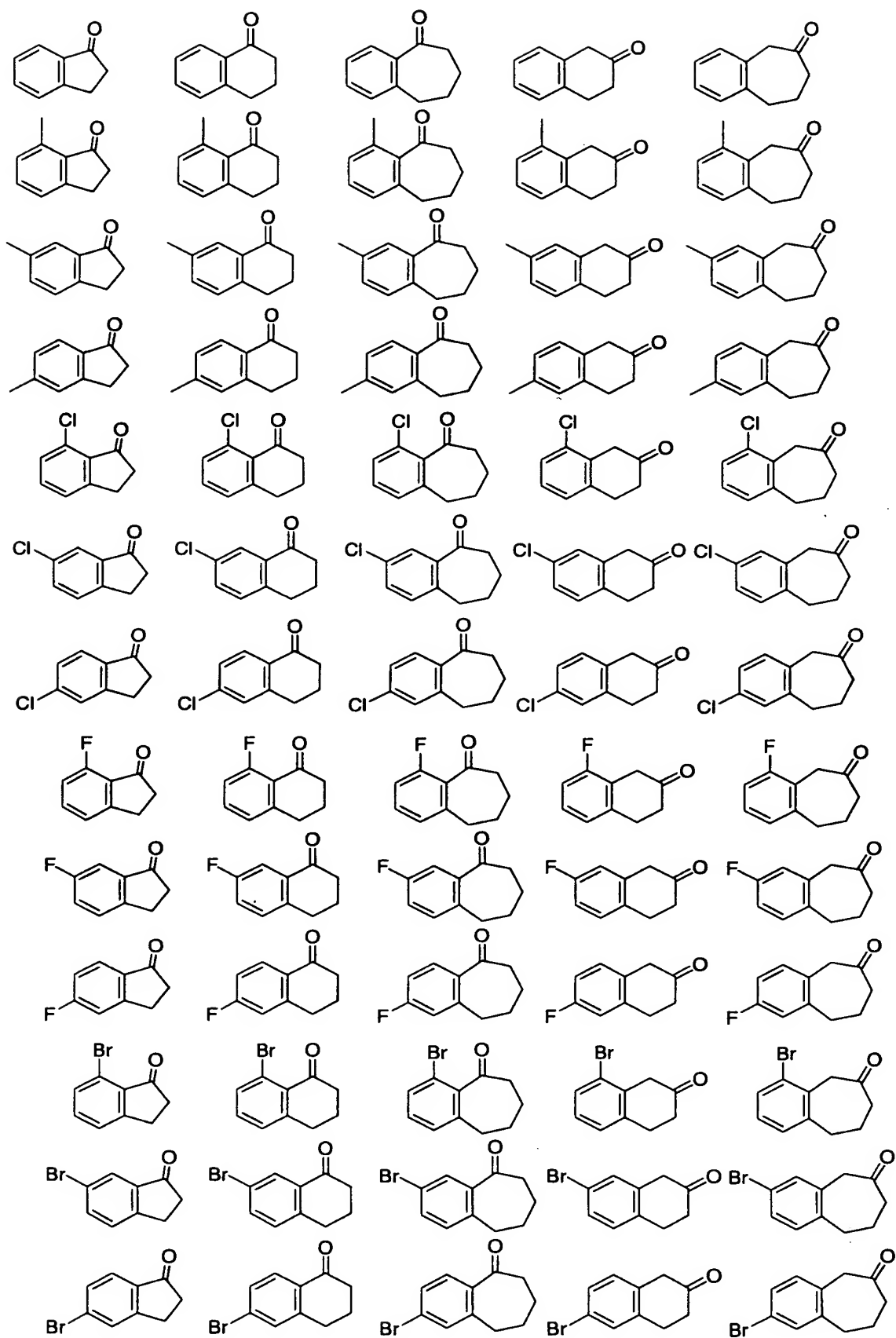
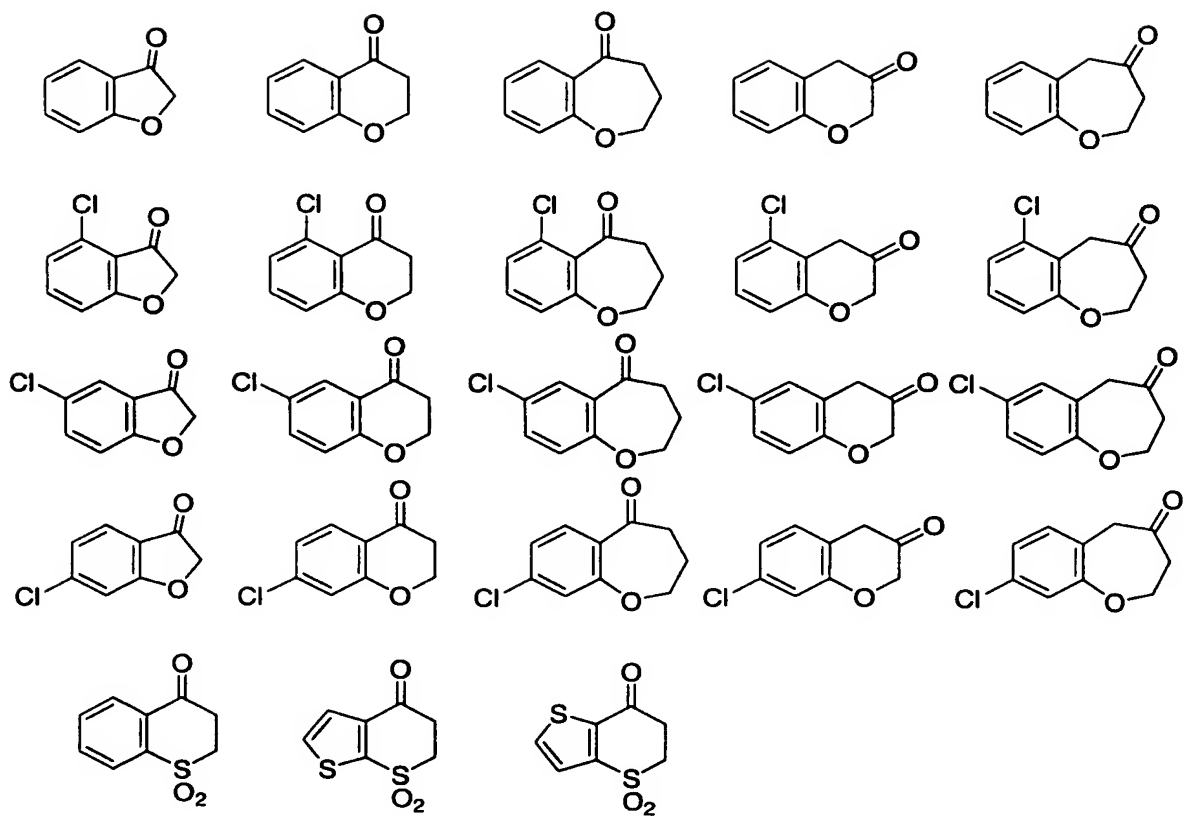


图5





7/7

图7

